

**SKRIPSI**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ABU CANGKANG SAWIT DAN  
CANGKANG SAWIT (CS) TERHADAP PERMEABILITAS DAN  
KEKUATAN TEKAN BETON BERPORI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada  
Jurusan Teknik Sipil



Di susun oleh:

**ANDINI**

**D0121062**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULAWESI BARAT  
MAJENE  
2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ABU CANGKANG SAWIT DAN**  
**CANGKANG SAWIT (CS) TERHADAP PERMEABILITAS DAN**  
**KEKUATAN TEKAN BETON BERPORI**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**ANDINI**

**NIM : D0121062**

**Jurusan Teknik Sipil**

**Universitas Sulawesi Barat**

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Tanggal 23 Mei 2025

Mengetahui,

**Pembimbing 1**



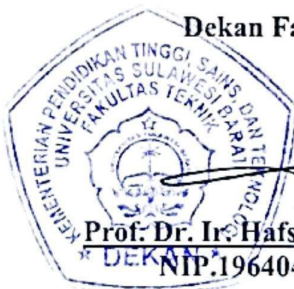
**Herni Suryani, S.T., M.Eng.**  
**NIP.19861009 2022203 2 003**

**Pembimbing 2**



**Dr. Eng. Ir. Amry Dasar, S.T., M.Eng.**  
**NIP.19880115 201903 1 006**

**Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Ir. Hafsa Nirwana, S.T., M.T.**  
**NIP.19640405 199003 2 002**

**Ketua Jurusan**



**Amalia Nurdin, S.T., M.T.**  
**NIP.19871212 201903 2 017**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi. dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Majene, 23 Mei 2025



**ABSTRAK**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ABU CANGKANG SAWIT DAN  
CANGKANG SAWIT (CS) TERHADAP PERMEABILITAS DAN  
KEKUATAN TEKAN BETON BERPORI**

**Andini**

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

[andinikarla19@gmail.com](mailto:andinikarla19@gmail.com)

Beton berpori adalah beton ringan yang dibuat tanpa menggunakan agregat halus sehingga memiliki rongga yang dapat dengan mudah dilewati oleh air. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh abu cangkang sawit dan cangkang sawit (CS) terhadap permeabilitas dan kekuatan tekan beton berpori. Dalam eksperimen ini, variasi campuran beton dibuat dengan menambahkan abu cangkang sawit dengan persentase 10% dan cangkang sawit dengan persentase 0%, 25% dan 50%. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah 7 dan 28 hari curing, sementara permeabilitas dilakukan pada umur 28 hari.

Hasil menunjukkan bahwa penambahan abu cangkang sawit dan cangkang sawit mempengaruhi kedua sifat beton, dimana variasi tertentu menghasilkan peningkatan kekuatan tekan dan perubahan permeabilitas yang signifikan. Proporsi terbaik variasi beton dengan menggunakan abu cangkang sawit dan cangkang sawit sebagai bahan tambah pembuatan beton berpori yaitu variasi P10CS0-P dengan penambahan abu cangkang sawit 10% dan cangkang sawit 0%, dengan nilai kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 9,247 MPa, memenuhi syarat berdasarkan NRMCA,2011 dan ACI 522R-10. Hasil dari pengujian permeabilitas yang didapatkan berdasarkan waktu penyerapan air pada variasi P10CS0-P sebesar 0,574 cm/s dan variasi P10CS25-P sebesar 1,133 cm/s memenuhi syarat berdasarkan NRMCA,2011 dan ACI 522R-10. Penambahan cangkang sawit dan abu cangkang sawit dalam pembuatan beton berpori dapat mengakibatkan peningkatan terhadap nilai permeabilitas.

**Kata kunci:** Beton Berpori, Cangkang Sawit, Abu Cangkang Sawit, Permeabilitas

## ABSTRACT

### EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF PALM SHELL ASH AND PALM SHELL (CS) ON PERMEABILITY AND COMPRESSIVE STRENGTH OF POROUS CONCRETE

ANDINI

Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of West Sulawesi

[andinikarla19@gmail.com](mailto:andinikarla19@gmail.com)

Pervious concrete is lightweight concrete made without using fine aggregates so that it has cavities that can be easily passed by water. This study aims to evaluate the effect of palm shell ash and palm shells (CS) on the permeability and compressive strength of pervious concrete. In this experiment, variations of concrete mixtures were made by adding palm shell ash with a percentage of 10% and palm shells with a percentage of 0%, 25% and 50%. Compressive strength testing was carried out after 7 and 28 days of curing, while permeability was carried out at the age of 28 days.

The results show that the addition of palm shell ash and palm shells affects both concrete properties, where certain variations result in significant increases in compressive strength and changes in permeability. The best proportion of concrete variations using palm shell ash and palm shells as additives for making pervious concrete is the P10CS0-P variation with the addition of 10% palm shell ash and 0% palm shells, with a compressive strength value at the age of 28 days of 9.247 MPa, meeting the requirements based on NRMCA, 2011 and ACI 522R-10. The results of the permeability test obtained based on the water absorption time in the P10CS0-P variation of 0.574 cm/s and the P10CS25-P variation of 1.133 cm/s meet the requirements based on NRMCA, 2011 and ACI 522R-10. The addition of palm shells and palm shell ash in making pervious concrete can result in an increase in the permeability value.

**Keywords:** Pervious Concrete, Palm Shell, Palm Shell Ash, Permeabil

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Beton merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan pada proyek pembangunan di dunia seperti pada konstruksi jembatan, gedung, bendungan, trotoar, sistem saluran pembuangan, terowongan, sistem penampungan limbah. Ini dikarenakan banyaknya keunggulan yang dimiliki oleh material beton seperti mudah dibentuk sesuai keinginan, memiliki nilai kuat tekan tinggi, pemeliharaan yang mudah dan tahan terhadap temperatur tinggi (Patah dkk., 2022).

Kemajuan pesat dalam bidang infrastruktur mengakibatkan pembetonan semakin meningkat yang menyebabkan berkurangnya daerah resapan air. Salah satu upaya yang dilakukan untuk meminimalisir air limpasan permukaan adalah dengan pembuatan beton berpori. Beton berpori adalah beton ringan yang dibuat tanpa menggunakan agregat halus sehingga memiliki rongga yang dapat dengan mudah dilewati oleh air (Manaf dkk., 2023).

Beton porous yang juga dikenal sebagai beton permeable atau berpori menjadi salah satu cara untuk menghindari air tergenang akibat betonisasi. Jika air yang jatuh ke permukaan langsung terserap tanah, maka tidak ada air yang tergenang, sehingga mengurangi resiko banjir. Beton porous yang dapat dilewati air karena berpori atau memiliki celah diantara agregat ini dapat mengganti fungsi beton konvensional yang pada umumnya tidak bisa atau sulit dilewati air, sehingga air hujan atau air yang jatuh ke beton porous dapat di alirkan ke lapisan tanah dibawah untuk diserap. Tidak hanya mengurangi ancaman banjir, beton porous juga dapat memfilter air sehingga mengurangi kontaminasi (Andriansyah & Walujodjati, 2023). Beton berpori adalah salah satu jenis beton yang ramah lingkungan karena dapat mengisi kembali muka air tanah dan mengurangi limpasan air permukaan (Patah & Dasar, 2023).

Kelapa sawit merupakan produk utama di negara beriklim tropis dan Indonesia merupakan produsen utama, salah satunya di Mamuju Tengah, Sulawesi Barat. Setiap tahun jutaan ton produk sampingan berupa limbah dari pabrik kelapa

sawit yang dikenal sebagai palm oil fuel ash (POFA) telah dibuang sehingga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan.(Dasar dkk, 2024). POFA, produk sekunder yang berasal dari industri minyak sawit yang biasanya ditinggalkan di tanah, menimbulkan masalah lingkungan. Karena kinerjanya yang baik dan reaksi pozzolan, bahan konstruksi berbasis POFA memiliki potensi besar sebagai alternatif semen Portland biasa (Patah dkk, 2025).

Cangkang kelapa sawit atau Oil Palm Shell (OPS) berpotensi digunakan pada beton sebagai pengganti agregat kasar guna meningkatkan kekuatan dan durabilitas. (Patah dkk, 2024). Abu cangkang sawit atau yang dikenal Palm Oil Fuel Ash (POFA) merupakan salah satu limbah dari hasil industri pertanian. POFA mengandung bahan yang bersifat pozzolan sehingga berpotensi dicampur dengan semen Portland sebagai bahan pengganti semen (SCM) (Dasar & Patah, 2024).

Pemanfaatan bahan limbah industri merupakan solusi yang layak untuk keberlanjutan, mengurangi biaya produksi bahan konstruksi, dan sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari limbah tersebut (Dasar dkk, 2023). Pemanfaatan material limbah seperti POFA dapat menjadi material alternatif karena kandungan sifat pozzolan yang dapat mengikat seperti pada semen (Dasar, Patah, dkk, 2024).

Berdasarkan penjelasan diatas maka penulis mencoba melakukan **Studi Eksperimental Pengaruh Abu Cangkang Sawit Dan Cangkang Sawit (CS) Terhadap Permeabilitas Dan Kekuatan Tekan Beton Berpori**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dengan memanfaatkan abu cangkang sawit dan cangkang sawit sebagai bahan tambah campuran dalam penggunaan beton berpori dapat diambil suatu rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana kuat tekan beton berpori menggunakan abu cangkang sawit dengan presentase 10%, dan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25% dan 50% sebagai bahan tambah pada pembuatan beton berpori?
2. Bagaimana permeabilitas beton berpori menggunakan abu cangkang

sawit dengan presentase 10%, dan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25% dan 50% sebagai bahan tambah pada pembuatan beton berpori?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui kuat tekan beton berpori menggunakan abu cangkang sawit dengan presentase 10%, dan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25% dan 50% sebagai bahan tambah pada pembuatan beton berpori
2. Untuk mengetahui permeabilitas beton berpori menggunakan abu cangkang sawit dengan presentase 10%, dan cangkang sawit dengan presentase 0%, 25% dan 50% sebagai bahan tambah pada pembuatan beton berpori

### **1.4 Batasan Masalah**

Perencanaan beton berpori banyak terdapat masalah-masalah yang sangat luas cakupannya dan dalam hal ini penulis membatasi permasalahan-permasalahan yang akan dikaji yaitu sebagai berikut:

1. Agregat kasar yang digunakan berasal dari CV.Anato Group, Kecamatan Duampanua, Kabupaten Pinrang, Sulawesi Selatan
2. Semua agregat yang digunakan dicuci terlebih dahulu
3. Semen yang digunakan adalah semen tipe I, merek Tonasa
4. Bahan tambah abu cangkang sawit dan cangkang sawit berasal dari PT.Surya Raya Lestari 2
5. Persentase cangkang sawit; 0%, 25% dan 50%
6. Persentase abu cangkang sawit; 10%
7. Benda uji berupa silinder beton dengan diameter 10cm dan tinggi 20cm
8. Penelitian yang dilakukan meliputi kuat tekan, dan permeabilitas
9. Setiap variasi pencampuran benda uji sebanyak 3 buah untuk pengujian kuat tekan dan 3 buah benda uji permeabilitas
10. Faktor air semen yang digunakan sebesar 35%
11. Perawatan beton atau *curing* dengan *freshwater* dilakukan pada suhu ruangan
12. Pengujian kuat tekan dilakukan pada beton umur 7 dan 28 hari, dan permeabilitas dilakukan pada beton umur 28 hari

13. Pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 1974:2011
14. Pengujian permeabilitas berdasarkan ASTM C1701

### **1.5 Manfaat Masalah**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknologi beton berpori yang memenuhi syarat ketentuan dan lebih ramah lingkungan
2. Penelitian ini dapat dipakai untuk merancang campuran beton dengan menggunakan bahan tambahan abu cangkang sawit dan cangkang sawit
3. Memberikan nilai tambah terhadap cangkang sawit dimana selama ini merupakan limbah yang sangat minim manfaatnya
4. Untuk penulis, merupakan pemikiran baru yang perlu terus dikembangkan dan diupayakan untuk disosialisasikan ke masyarakat pemakai beton khususnya beton berpori.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara umum tulisan ini terbagi lima bab yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan dan diakhiri oleh Penutup. Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab diatas.

#### **BAB I            LATAR BELAKANG**

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II            TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini, diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

### **BAB III      METODE PENELITIAN**

Pada bab ini memuat tentang tahap-tahap penelitian seperti studi kepustakaan, tempat dan waktu penelitian serta bahan-bahan yang digunakan dan juga berisi tentang bagan alur penelitian dan metode penelitian

### **BAB IV      HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

### **BAB V      PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai analisis hasil yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian sebelumnya ini menjadi salah satu rujukan penting bagi penulis dalam melaksanakan penelitian, sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan untuk menganalisis studi yang sedang dijalankan. Dalam penelitian ini, penulis menyertakan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dan berkaitan dengan topic yang akan diteliti, sebagai berikut:

1. PRASSUTIYO, (2024) Dengan judul penelitian “Analisis kuat tekan dan permeabilitas beton porous dengan menggunakan fly ash sebagai pengoptimalan semen”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan permeabilitas beton porous dengan menggunakan Fly Ash serta komposisi maksimum dan minimum yang dihasilkan pada campuran Fly Ash dengan Variasi 0%, 7,5% , 10 % dan 12,5 %. Nilai yang didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan dan permeabilitas menunjukkan beton porous memiliki kuat tekan yang lebih tinggi, hal ini menunjukkan bahwa pori-pori di dalam struktur beton lebih sedikit atau lebih kecil, mengurangi jumlah air yang dapat mengalir melalui beton, sehingga mengakibatkan permeabilitasnya berkurang.
2. Manaf, Ridhayani dkk., (2023) Dengan judul penelitian “Penggunaan cangkang sawit sebagai pengganti agregat kasar terhadap kuat tekan beton”. Dalam penelitian ini cangkang sawit dijadikan dua tipe yakni beton dengan 100% cangkang sawit dan beton variasi yang dimana sebagian kerikil digantikan oleh cangkang sawit dengan persentase 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Tujuan penelitian adalah mengetahui mutu beton jika menggunakan 100% cangkang sawit, dan nilai kuat tekan beton jika sebagian kerikilnya diganti menggunakan cangkang sawit dengan persentase 0%, 25%, 50%, 75 dan 100%. Hasil yang diperoleh bahwa penggunaan 100% cangkang sawit tidak direkomendasikan untuk pembuatan beton, namun jika hanya mengganti sebagian kerikil dapat digunakan namun tidak boleh lebih dari 50%.

3. Andriansyah & Walujodjati, (2023) Dengan judul “Pengaruh bahan tambah *superplasticizer* pada beton porous terhadap kuat tekan, tarik belah, dan permeabilitas”. Penelitian ini bermaksud untuk mengkaji secara eksperimental sifat mekanis terhadap Kuat Tekan , Kuat Tarik dan permeabilitas beton porous dengan berbagai variasi faktor air semen. Agregat kasar yang digunakan batu pecah Cilopang berukuran 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm dan menggunakan bahan tambah *superplasticizer*. Sample yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dan kuat Tarik belah berbentuk silinder berukuran 15 x 30 cm. Berdasarkan hasil pengujian menurut ACI 522R-10 hasil pengujian beton porous bahwa beton porous normal dengan menggunakan bahan tambah *superplasticizer* nilai kuat tekan dan kuat tarik belah mengalami perubahan kenaikan nilai dari beton normal.
4. Bagus H, (2023) Dengan judul penelitian “Analisis penggunaan abu boiler pabrik kelapa sawit sebagai bahan tambah terhadap kuat tekan beton”. Penelitian ini mencoba menggunakan bahan tambah berupa abu boiler pabrik kelapa sawit yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan dan kuat tekan beton. Pada penelitian ini menggunakan variasi abu boiler pabrik kelapa sawit sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% dari berat bahan dalam 1 silinder. Dimensi benda uji silinder 15 x 30 cm. Rancangan campuran menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Setiap variasi dibuat 2 benda uji, sehingga jumlah keseluruhannya 8 buah benda uji. Perendaman 28 hari air menggunakan tawar. Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan beton. Hasil kuat tekan optimum pada perendaman air tawar 28 hari terjadi pada beton dengan campuran abu boiler pabrik kelapa sawit variasi 0% (beton normal) yaitu sebesar 190,11 kg/cm, dengan variasi 2% sebesar 179,09 kg/cm, dengan variasi 4% sebesar 109,15 kg/cm, dengan variasi 6% sebesar 94,95 kg/cm. Hasil uji kuat tekan beton menggunakan abu boiler pabrik kelapa sawit sebagai bahan tambah mengalami Penurunan kuat tekan pada variasi 2%, 4% dan 6%, dibandingkan dengan beton tanpa abu boiler pabrik kelapa sawit.

5. Randi Bastika dkk, (2024) Dengan judul penelitian “Pengaruh penambahan limbah cangkang kelapa sawit terhadap nilai kuat tekan beton”. Tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh penambahan variasi limbah cangkang kelapa sawit 5%, 10%, 15%, terhadap kuat tekan beton. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Nilai rata-rata kuat tekan beton pada umur 28 hari untuk beton normal dan variasi cangkang kelapa sawit 5% masuk kedalam standar nilai mutu beton K-200 akan tetapi mengalami penurunan pada variasi cangkang kelapa sawit 10% dan 15%. Hasil ini didukung oleh hasil pengujian SPSS uji dua mean antara 0% dan 5% dimana sama, tidak ada perbedaan, tetapi untuk variasi lainnya berbeda. Semakin besar penggunaan cangkang kelapa sawit dalam campuran beton akan mengurangi nilai kuat tekan pada beton. Variasi campuran cangkang kelapa sawit yang menghasilkan kuat tekan beton paling maksimal pada variasi 5% dengan nilai rata-rata sebesar 221.01 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.2 Umum

Berdasarkan SNI-03-2847-2019, pengertian beton adalah campuran dari semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan yang membentuk massa padat. Secara umum beton memiliki kelebihan dan kekurangan:

1. Kelebihan beton. (SNI-03-2847-2019)  
Beton memiliki beberapa kelebihan antara lain:
  - a. Dapat dengan mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi
  - b. Mampu memikul beban yang berat
  - c. Tahan terhadap temperature yang tinggi
  - d. Biaya pemeliharaan yang kecil
2. Kekurangan beton. (SNI-03-2847-2019)  
Adapun kekurangan beton adalah sebagai berikut:
  - a. Bentuk yang telah dibuat sulit diubah
  - b. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
  - c. Berat

d. Daya pantul suara yang besar

**Tabel 2.1** Jenis-jenis beton berdasarkan berat jenis dan pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (Kg/m <sup>3</sup> )	Pemakaian
Beton sangat ringan	<1000	Non-struktur
Beton ringan	1440-1850	Struktur ringan
Beton normal	2200-2400	Struktur
Beton berat	N > 2400	Pariasi sinar X

*Sumber : SNI 03-2847-2002*

Berdasarkan kuat atau mutu beton (SNI 03-6468-2002), beton dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

1. Beton mutu rendah (low strength concrete), yang memiliki kuat tekan beton kurang dari  $f_c$  20 Mpa
2. Beton mutu sedang (medium strength concrete), yang memiliki kuat tekan beton  $f_c$  21 Mpa-40Mpa
3. Beton mutu tinggi (higt strength concrete), yang memiliki kuat tekan lebih dari  $f_c$  41 Mpa.

### 2.3 Bahan Penyusun Beton Berpori

Menurut (Harber, 2005) beton berpori terdiri dari campuranm semen, air, dan agregat kasar berukuran tunggal, yang dicampur untuk menghasilkan bahan struktural berpori

#### 1. Semen

Semen adalah bahan jadi yang mengeras dengan adanya air (semen hidrolis) yang memiliki sifat adhesive dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen – fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat (Nurlina, 2011). Semen harus memenuhi salah satu dari ketentuan SNI 15- 2049-1994 Semen Portland, ASTM C595 Spesifikasi semen blended hidrolis, kecuali tipe S dan SA. yang tidak diperuntukkan sebagai unsur pengikat utama struktur beton. ASTM C845. Spesifikasi semen hidrolis ekspansif. dalam hal ini perlu diketahui tipe semen yang standarnisasi di Indonesia.

a. Tipe - tipe Semen

Menurut (ASTM 2024), semen Portland dibagi menjadi lima tipe, yaitu:

- 1.) Tipe I: *Ordinary Portland cement* (OPC), semen untuk penggunaan umum, tidak memerlukan persyaratan khusus (panas hidrasi, ketahanan terhadap sulfat, kekuatan awal).
- 2.) Tipe II: *Moderate Sulphate Cement*, semen untuk beton yang tahan terhadap sulfat sedang dan mempunyai panas hidrasi sedang.
- 3.) Tipe III: *High Early Strength Cement*, semen untuk beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras).
- 4.) Tipe IV: *Low Heat of Hydration Cement*, semen untuk beton yang memerlukan panas hidrasi rendah, dengan kekuatan awal rendah yang tahan terhadap kadar sulfat tinggi.

Semen merupakan bahan yang bersifat hidrolis, yaitu bahan yang mengalami proses pengerasan jika dicampur dengan air ataupun larutan asam. Bahan dasar semen terdiri dari tiga (3) macam, yaitu clinker/terak semen sebanyak 70% sd 95% yang merupakan hasil olahan pembakaran batu kapur, pasir silika, pasir besi dan tanah liat. Semen juga mempunyai sifat kohesif dan sifat adhesive apabila bahan ini tercampur dengan bahanlainnya maka besar kemungkinan menyatukan menjadi satu kesatuan yang dapat padat. Bahan utama pembentuk semen adalah kapur (CaO) yang berasal dari lempung sedikit magnesium (MgO). Terkadang untuk mengontrol komposisi ditambahkan oksida besi dan untuk mengatur waktu ikatan semen ditambahkan gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

2. Agregat

Agregat merupakan bahan berbutir yang mencakup pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (blast-furnace slag), yang digunakan bersama dengan media perekat untuk memproduksi beton atau mortar semen hidrolis sesuai dengan standar (SNI 2847 2019)

Agregat kasar dan halus merupakan material pembentuk beton. Beton biasanya memiliki campuran agregat yang jumlahnya cukup tinggi, yaitu berkisar 60%-70% dari berat campuran beton. Agregat ini hanya digunakan sebagai bahan pengisi dari beton. Akan tetapi, karena komposisi agregat yang cukup besar sehingga agregat menjadi penting dalam suatu campuran beton.(Patah & Dasar, 2021)

Berdasarkan SNI 1970-2008 penentuan berat jenis dan penyerapan agregat diperlukan untuk menghitung volume agregat dalam 18 kondisi Saturasi Kandungan Air (SSD). Kondisi SSD merujuk pada keadaan agregat di mana tidak terdapat air di permukaan, sementara rongga-rongganya terisi air, sehingga tidak menyebabkan penambahan atau penurunan kadar air dalam beton.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar, atau yang lebih dikenal sebagai coarse aggregate, merupakan kerikil yang dihasilkan dari proses disintegrasi bebatuan alami atau batu pecah yang diperoleh melalui industri pemecahan batu. Agregat ini memiliki ukuran berkisar antara 4,76 mm hingga 150 mm. Penggunaannya biasanya dikombinasikan dengan media pengikat untuk membentuk beton semen hidraulik atau adukan.

Menurut SK SNI S-04-1989-F mengenai Spesifikasi Bahan Bangunan, agregat kasar wajib memenuhi berbagai persyaratan dan ketentuan tertentu, yang antara lain berikut ini :

- 1.) Butiran agregat kasar harus bertekstur keras dan tidak berpori, indeks kekerasan < 5%.
- 2.) Agregat kasar harus bersifat kuat, tidak mudah pecah atau hancur. Ketika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 12%-nya, jika diuji dengan garam Magnesium Sulfat bagian yang hancur pada agregat kasar tidak boleh lebih dari 18%.
- 3.) Agregat kasar tidak mengandung lumpur (butiran halus yang

lewat ayakan 0,06) lebih dari 1% dalam berat keringnya, jika melampaui 1% maka harus dicuci.

- 4.) Agregat kasar ini tidak boleh mengandung zat relatif alkali yang dapat merusak beton.
- 5.) Butiran agregat kasar yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20% dari berat agregat seluruhnya.
- 6.) Modulus halus butir atau angka kehalusan (fineness modulus) pada agregat kasar berkisar antara 6-7,1 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- 7.) Ukuran butir agregat kasar maksimalnya tidak boleh melebihi dari  $\frac{1}{5}$  jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan,  $\frac{3}{4}$  jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan, dan  $\frac{1}{3}$  tebal pelat beton.

### 3. Air Tawar

Fungsi dari air disini antara lain adalah sebagai bahan pencampur dan pengaduk antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang dapat diminum memenuhi persyaratan sebagai air pencampur beton, air ini harus bebas dari padatan tersuspensi ataupun padatan terlarut yangt terlalu banyak, dan bebas dari mineral organic (Mindess dkk, 2003). Persyaratan air sebagai bahan bangunan, sesuai dengan prnggunaannya harus memenuhi Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982), antara lain:

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
- c. Tidak boleh mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter
- d. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organic dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter. Kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m sebagai SO<sub>3</sub>.

- e. Semua air yang mutunya meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi

#### 4. Cangkang sawit

Limbah cangkang sawit merupakan sisa pengolahan CPO atau Crude Palm Oil. Cangkang ini terbentuk dari bagian luar kulit buah kelapa sawit yang merupakan limbah hasil pemisahan inti sawit dari tandan buah kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit dapat diolah menjadi arang aktif karena cangkang kelapa sawit mengandung senyawa-senyawa seperti silikat, selulosa, pentosa, lignin dan netoksil. Dari komposisi diatas terlihat bahwa sebagian besar cangkang kelapa sawit tersusun dari senyawa-senyawa yang mengandung karbon. Menurut Ulfah, cangkang sawit dari sawit varietas Tenera mengandung karbon sebesar 44,74%, abu 1,12%, total N 0,07% dan kadar air sebesar 5,42%. Selulosa adalah komponen utama dalam cangkang kelapa sawit. Ini adalah polimer karbohidrat kompleks yang terdiri dari rantai panjang glukosa. Selulosa memiliki sifat kuat dan tahan terhadap dekomposisi, membuatnya berguna dalam industri kertas, tekstil, dan material bangunan. Cangkang kelapa sawit mengandung berbagai zat yang memiliki potensi manfaat dan aplikasi dalam berbagai industri. Berikut adalah beberapa zat yang terkandung dalam cangkang kelapa sawit: Selulosa merupakan senyawa organik dengan rumus  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , sebuah polisakarida yang terdiri dari rantai linier dari beberapa ratus hingga lebih dari sepuluh ribu ikatan  $\beta(1\rightarrow4)$  unit D-glukosa. Lignin adalah zat kompleks yang memberikan kekuatan dan kekerasan pada cangkang kelapa sawit. Ini juga berperan dalam memberikan ketahanan terhadap serangga dan mikroorganisme. Lignin memiliki potensi dalam industri pulp dan kertas, serta sebagai bahan baku untuk produksi bahan kimia. Hemiselulosa adalah polisakarida yang terdapat dalam cangkang kelapa sawit. Ini memberikan sifat elastis dan fleksibilitas pada bahan tersebut. Hemiselulosa memiliki potensi dalam

industri kertas, tekstil, dan bahan bangunan. Cangkang kelapa sawit juga mengandung silika, mineral yang memberikan kekerasan dan ketahanan terhadap serangan serangga dan jamur. Silika dalam cangkang kelapa sawit dapat diekstraksi dan digunakan dalam industri seperti konstruksi, farmasi, dan kosmetik.

#### 5. Abu Cangkang Sawit

Abu cangkang sawit merupakan salah satu limbah dari penmgelolaan kelapa sawit. Abu cangkang sawit merupakan sisa dari pembakaran cangkang kelapa sawit dalam dapur atau tungku pembakaran dengan suhu 700°C-800°C. abu cangkang kelapa sawit berasal dari unit pengolahan kelapa sawit yang penanganan limbah tersebut ditangani secara baik.

Abu cangkang kelapa sawit merupakan limbah hasil pembakaran cangkang kelapa sawit yang banyak mengandung silikat. Selain itu, abu 28 canngkang kelapa sawit juga mengandung kation anorganik sepeti kalium dan natrium.

Secara umum abu cangkang sawit dapat didefinisikan sebagai materi sisa yang tidak habis terbakar dan berfungsi dalam proses pembakaran karbon, hidrogen, sulfur, oksigen dan penguapan air yang terkandung dalam tandan kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit. Abu cangkang sawit tersebut berwarna gelap (abu kehitam-hitaman) dan ukuran butirannya bervariasi dari ukuran pasir hingga kerakal (*pebble*). Komposisi kimia abu cangkang sawit didominasi oleh SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO dan lainnya. Pada dasarnya abu cangkang sawit mempunyai komposisi kimia yang menyerupai aluminosilikat lainnya, seperti lempung. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan dengan menggunakan presipitator elektrostatik. Karena pertikel-pertikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan, partikelpertikel abu yang terkumpul pada presipitator elektrostatik biasanya berukuran silt (0,074-0,005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silika dioksida (SiO<sub>2</sub>), aluminium

oksida ( $Al_2O_3$ ) dan besi oksida ( $Fe_2O_3$ )

## 2.4 Sifat Mekanik Beton Berpori

Dalam pembuatan beton berpori harus diperhatikan sifat-sifat dari beton berpori yang diinginkan. Sifat utama dan umum adalah sifat-sifat mekanis beton. Hal ini berpengaruh dalam perhitungan dan pembuatan campuran beton. Sifat-sifat mekanis beton dapat dikaitkan dengan dua kondisi yakni beton segar dan beton yang sudah mengeras.

### 1. Kuat Tekan Beton Berpori

Pengertian kuat tekan beton adalah besarnya tegangan per satuan luas yang menyebabkan beton runtuh ketika dikenai gaya tekan tertentu yang ditimbulkan oleh suatu tekan pada benda uji silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm pada umur 7 dan 28 hari. Kuat tekan beton merupakan sifat beton yang paling penting dibandingkan dengan sifat lainnya karena menunjukkan mutunya. Kuat tekan beton ditentukan dengan mengatur perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus dan air. Sejumlah air diperlukan untuk mendapatkan efek kimiawi saat beton mengeras. Kelebihan air meningkatkan kemampuan kerja tetapi mengurangi kekuatan (Lasino, N. Retno Setiati, 2017)

Menurut National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan ACI 522R-10 beton berpori mempunyai nilai kuat tekan seperti pada tabel 2.10 berikut.

**Tabel 2.2** Kuat Tekan Beton Berpori

<b>Nilai</b>	<b>NMRCA, 2011 (MPa)</b>	<b>ACI 522R-10 (MPa)</b>
Minimum	3,5	2,8
Maksimum	28	28

*Sumber : NRMCA, 2011 dan ACI 522R-10*

Berdasarkan SNI 1974-2011, kuat tekan beton dihitung dengan membagi kuat tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian

dengan luas penampang melintang. Besarnya kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

$f_c'$  : Kuat tekan beton dengan uji silinder (MPa)

P : Gaya tekan aksial (N)

A : Luas penampang melintang benda uji (mm<sup>2</sup>)

## 2. Permeabilitas beton berpori

Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, maka beton tersebut dikatakan permeable. Jika sebaliknya, maka beton tersebut dikatakan impermeable. Maka sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air.

Sedangkan menurut (Nevilla, 1995), permeabilitas merupakan kemudahan air atau gas melewati beton. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas adalah faktor air semen dari campuran beton, kondisi lingkungan, dan sifat dari semen.

Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengetahui berapa lama air dapat tembus melewati beton berpori dalam satuan cm/jam. Metode pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C1701 (Standar Test Method for Infiltration Rate of In Place Concrete).

Berikut rumus pengujian permeabilitas/infiltrasi dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$I = \frac{KM}{D^2t} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

I = Laju infiltrasi (cm/jam)

D = Diameter benda uji (mm)

M = Massa jenis air (g/cm<sup>3</sup>)

K = Konstanta dengan nilai 4.583.666.000 ((mm<sup>2</sup> detik)/(Kg.jam))

t = Waktu yang dibutuhkan untuk meloloskan air (s)

Menurut National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, 2011) dan American Concrete Institute (ACI 522R-10) beton berpori mempunyai nilai permeabilitas minimum dan nilai permeabilitas maksimum dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut ini.

**Tabel 2.3** Permeabilitas Beton Berpori

Nilai	NRMCA, 2011 (mm/jam)	ACI 522R-10 (mm/jam)
Minimum	0,2	0,14
Maksimum	1,2	1,22

*Sumber : NRMCA, 2011 dan ACI 522R-10*

## 2.5 Perawatan Beton (Curing)

Curing atau perawatan beton dilakukan saat beton sudah mulai mengeras yang bertujuan untuk menjaga agar beton tidak kehilangan air dan sebagai tindakan menjaga kelembapan/suhu beton sehingga beton dapat mencapai mutu beton yang diinginkan. Pelaksanaan perawatan beton dilakukan setelah beton mengalami atau memasuki fase hardening (untuk permukaan beton yang terbuka) atau setelah bekisting dibongkar dengan durasi tertentu yang dimaksudkan untuk memastikan terjaganya kondisi yang diperlukan untuk proses reaksi senyawa kimia yang terkandung dalam campuran beton. Proses curing ini meliputi pemeliharaan kelembapan dan kondisi suhu, baik dalam beton maupun di permukaan beton dalam periode waktu tertentu.

Jumlah air dalam beton sebetulnya sudah lebih dari cukup untuk menyelesaikan reaksi hidrasi. Namun sebagian air hilang menguap sehingga hidrasi selanjutnya terganggu. Karena hidrasi relative cepat pada hari-hari pertama, perawatan paling penting adalah pada umur mudahnya. Kehilangan air yang cepat juga menyebabkan beton menyusut, terjadinya tegangan tarik pada beton yang sedang mengering sehingga dapat menimbulkan keretakan.

### 1. Tujuan perawatan beton berpori

Adapun tujuan dari perawatan beton atau curing adalah sebagai berikut:

- a. Menjaga beton dari kelembapan air semen yang banyak pada saat setting time concrete.
- b. Menjaga beton dari kehilangan air akibat penguapan dari hari pertama.
- c. Menjaga perbedaan suhu beton dengan lingkungannya yang terlalu besar.
- d. Mendapatkan kekuatan beton tinggi.
- e. Menjaga stabilitas dimensi beton.
- f. Menjaga beton dari keretakan.

## 2. Metode perawatan beton berpori

Perawatan pada beton dimaksudkan untuk menghindari panas hidrasi yang tidak diinginkan yang terutama disebabkan oleh suhu, serta perawatan yang baik terhadap beton akan akan memperbaiki berbagai segi kualitas beton tersebut. Beberapa cara perawatan beton yang sering digunakan pada proses pengerasan adalah sebagai berikut.

### a. Perawatan dengan air

Cara ini paling banyak digunakan. Namaun demikian, penggunaan cara ini perlu didukung oleh pertimbangan ekonomi sehubungan dengan kondisi lapangan dan tersedianya air. Dengan mutu air yang digunakan harus bebas dari bahan-bahan yang agresif terhadap beton. Beberapa macam cara perawatan beton dengan menggunakan air adalah sebagai berikut:

- 1.) Penyemprotan dengan menggunakan air.
- 2.) Perendaman dalam air.
- 3.) Penumpukan Jerami basah.
- 4.) Pelapisan tanah atau pasir basah.
- 5.) Penyelimutan dengan kain atau karung basah

### b. Perawatan dengan penguapan

Cara ini banyak digunakan dengan tujuan untuk mendapatkan kuat

tekan awal yang tinggi pada elemen-elemen beton pracetak, seperti pada fabrikasi tiang pancang beton pratekan

c. Perawatan dengan penguapan tekanan tinggi

Cara ini juga dikenal sebagai High Pressure Steam Curing, banyak digunakan untuk perawatan elemen beton ringan. Cara ini digunakan sering kali dengan tujuan untuk mengurangi resiko terjadinya retak susut elemen beton dan sekaligus meningkatkan kemampuan ketahanan terhadap sulfat.

d. Perawatan dengan isolasi permukaan beton

Cara perawatan ini dengan menggunakan lapisan yang rapat untuk menutupi permukaan beton biasa merupakan solusi yang baik, karena cara ini bisa menghambat proses penguapan air pori dalam beton, disamping juga bisa mengurangi resiko timbulnya perbedaan temperatur yang menyolok antara bagian dalam beton dengan bagian luar beton. Beberapa material yang biasa digunakan untuk keperluan perawatan ini antara lain:

- 1.) Lapisan pasir kering
- 2.) Lapisan plastik
- 3.) Kertas berserat, yang dilapisi dengan adhesive bituminous

3. Tanpa perawatan

Seringnya dijumpai dilapangan konstruksi setelah dilakukan pengecoran, banyak sekali dijumpai dilapangan mengabaikan perawatan pada bangunan ruko-ruko atau bangunan lainnya

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan data penelitian, analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton berpori dengan menggunakan abu cangkang sawit dan cangkang sawit sebagai bahan tambah pembuatan beton berpori umur 7 hari pada variasi P10CS0-P dengan nilai kuat tekan sebesar 6,760 MPa, P10CS25-P sebesar 2,565 MPa dan P10CS50-P sebesar 0,846 MPa. Sedangkan pada umur 28 hari, nilai kuat tekan untuk variasi P10CS0-P sebesar 9,247 MPa, P10CS25-P sebesar 1,054 MPa dan P10CS50-P sebesar 0,503 MPa. Dari nilai tersebut variasi P10CS0-P pada umur 7 dan 28 hari memenuhi persyaratan NMRCA 2011 dan ACI 522R-10 sedangkan variasi P10CS25-P dan P10CS50-P tidak memenuhi syarat
2. Hasil dari pengujian permeabilitas yang didapatkan berdasarkan waktu penyerapan air pada variasi P10CS0-P sebesar 0,574 cm/s dan variasi P10CS25-P sebesar 1,133 cm/s memenuhi syarat berdasarkan NRMCA,2011 dan ACI 522R-10. Sedangkan untuk variasi P10CS50-P yang nilai permeabilitasnya sebesar 1,360 cm/s tidak memenuhi syarat berdasarkan NRMCA,2011 dan ACI 522R-10.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap sifat mekanik beton berpori dengan penggunaan abu cangkang sawit dan cangkang sawit sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton berpori. Maka penulis menyampaikan saran yang terkait pada penelitian ini, antara lain sebagai berikut.

1. Penambahan cangkang sawit diatas 25% Sebaiknya tidak dilakukan dalam pembuatan beton berpori karena dapat mempengaruhi ketikstabilan pada kuat tekan dan permeabilitas beton berpori.
2. Sebaiknya alat uji permeabilitas dapat disediakan sesuai dengan standar pengujian permeabilitas agar dalam penelitian bisa mendapatkan hasil

yang maksimal.

3. Perlu adanya penelitian lanjutan beton berpori dengan penggunaan bahan tambahan atau bahan campuran lainnya yang dapat meningkatkan kuat tekan beton berpori.
4. Sebaiknya pada saat pembuatan benda uji pada proses penumbukan campuran yang ada pada silinder dilakukan dengan konsisten agar kepadatan benda uji dapat teratur sehingga tidak mempengaruhi hasil data yang diperoleh

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee. 2010. ACI 522R-10, Report on Pervious Concrete. American Concrete Institute, USA.
- Andriansyah, D., & Walujodjati, E. (2023). Pengaruh Bahan Tambah Superplasticizer pada Beton Porous Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah dan Permeabilitas. *Jurnal Konstruksi*, 21(2), 207–216. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.21-2.1386>
- Badan Standarisasi Indonesia, 2011. SNI 1974:2011, Uji Kuat Tekan Beton. Jakarta, BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. SNI 03-1972-1990, Tata Cara Pengujian Slump Test. Jakarta, BSN.
- Bagus H. (2023). *Analisis Penggunaan Abu Boiler Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Beton*.
- Dasar, A., & Patah, D. (2024). Kekuatan dan Durabilitas Beton Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA) dan Pasir Pantai. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 83–94. <https://doi.org/10.35334/be.v8i1.5090>
- Dasar, A., Patah, D., Okviyani, N., & Nurdin, A. (2024). *Produksi Batu Bata Tanah Liat Yang Ramah Lingkungan Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA)*. 12(1), 72–79.
- Dasar, A., Patah, D., Ridhayani, I., & Manaf, A. (2023). Perbandingan Kinerja Bata Beton Menggunakan Abu Cangkang Sawit, Abu Sekam Padi Dan Abu Serat Sagu. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(2), 241–248. <https://doi.org/10.32487/jtt.v11i2.1797>
- Dasar, A., Patah, D., Sainuddin, S., & Caronge, M. A. (2024). Corrosion Resistance of Reinforcing Steel in Concrete using Palm Oil Fuel Ash (POFA) and Sea Water. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 29(2), 243–252. <https://doi.org/10.14710/mkts.v29i2.55191>

- Lasino, N. Retno Setiati, dan D. C. (2017). Karakteristik Beton Dengan Menggunakan Berbagai Jenis Semen (Concrete Characteristik Using Various Types Of Cement). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 34(1), 49–63.
- Manaf, A., Ridhayani, I., & Nurdin, A. (2023). Pengaruh Abu Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Semen Pada Beton Berpori. *Bandar*, 5(1), 17–26.
- Manaf, A., Ridhayani, I., Nurdin, A., Fauzi Mahmuda, A., Okviyani, N., Suryani, H., & Kunci, K. (2023). Penggunaan Cangkang Sawit Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton. *Journal of Civil Engineering*, 5(1), 59–66.
- National Ready Mixed Concrete Assosiation. 2011. NRMCA 2011, Pervious Concrete and Construction (International Concrete Sustainability Conference Dubai, Desember 2011). USA.
- Patah, D., & Dasar, A. (2021). Pasir dan Kerikil Sungai Mappili sebagai material Lokal untuk Campuran Beton di Sulawesi Barat. *Bandar: Journal of Civil Engineering*, 3(2), 9–14.  
<https://ojs.unsulbar.ac.id/index.php/bjce/article/view/1207>
- Patah, D., & Dasar, A. (2023). Beton Berpori Dengan Variasi Ukuran Agregat Kasar. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(2), 206–212.  
<https://doi.org/10.32487/jtt.v11i2.1762>
- Patah, D., Dasar, A., & Indrayani, P. (2022). Pengaruh Perbedaan Metode Perawatan Terhadap Kuat Tekan Beton. *BANDAR: Journal of Civil Engineering*, 4(1), 1–9.
- Patah, D., Dasar, A., & Noor, N. M. (2025). The Effects of Palm Oil Fuel Ash on Mechanical and Durability Properties of Sustainable Foamed Concrete. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 11(1), 79–88.  
<https://doi.org/10.22146/jcef.13749>

- Patah, D., Dasar, A., Ridhayani, I., Suryani, H., Indrawan, A., Sainuddin, & Rohani, I. (2024). *Kekuatan dan Durabilitas Oil Palm Shell ( OPS ) sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar pada Beton Bertulang*. 2(APRIL).
- PRASSUTIYO, A. (2024). *Analisis kuat tekan dan permeabilitas beton porous dengan menggunakan fly ash sebagai pengoptimalan semen*.
- Randi Bastika, Yoseph Yustinus, & Nur Aida. (2024). Pengaruh penambahan limbah cangkang kelapa sawit terhadap nilai kuat tekan beton. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 13(1), 18–25. <https://doi.org/10.22225/pd.13.1.9225.18-25>
- SNI 2847. 2019. “SNI\_2847\_2019\_Persyaratan\_Beton\_Struktur.” (8).